

Abgasbehandlung für Dieselmotoren

Hoffmann, Ulrich

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1987 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.147-152



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

Abgasbehandlung für Dieselmotoren

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hoffmann

Institut für Chemische Technologie und Brennstofftechnik
Technische Universität Clausthal

1. Einleitung

Dieselmotoren emittieren neben den auch von Ottomotoren ausgestoßenen Schadstoffen wie Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden und Kohlenmonoxid je nach Typ und Fahrbedingung auch Rußpartikel. Diese Rußpartikel besitzen eine große spezifische Oberfläche, auf der feinste „Kondensattröpfchen“ adsorbiert sind. Zu den adsorbierten Spezies gehören u. a. reizerregende teiloxidierte Kohlenwasserstoffe (Aldehyde, Ketone, Phenole) sowie kondensierte Aromaten (PAH).

Aufgrund einer zunehmenden Umweltbelastung wird eine drastische Reduzierung der Schadstoffe und eine Einführung der seit langem in den USA geltenden Grenzwerte in Europa gefordert.

Nach dem heutigen Stand der Technik können die Emissionsgrenzwerte nur durch eine Abgasfilterung eingehalten werden. Obwohl in den letzten Jahren Fortschritte erzielt wurden, ist derzeit bei den Dieselmotoren der Nutzfahrzeuge weder das Problem der Partikelfilterung noch das der rechtzeitigen, selbsttätigen Regeneration zufriedenstellend gelöst.

Zur Gewährleistung eines sicheren Fahrzeugbetriebes muß eine rechtzeitige Erhöhung der Abgastemperatur zur Regenerierung des Filters vorgenommen werden, um Verstopfungen des Filters durch Ruß zu vermeiden; andernfalls steigt der Abgasdruck auf nicht vertretbare Werte an.

Es wird daher nach Lösungen gesucht, einerseits die Abgastemperaturen rechtzeitig zu erhöhen oder aber die Zündtemperaturen des abgeschiedenen Rußes durch geeignete Katalysatoren zu senken.

Höhe Abgastemperaturen können z. B.

- durch „Anfetten“ des im Motor gebildeten Luft-Kraftstoff-Gemisches oder
- durch die Anordnung eines abgas-/luftgespeisten Brenners im Abgassystem vor dem Filter, welcher bei Bedarf gezündet werden kann, erzeugt werden.

Die Katalysatoren können entweder dem Kraftstoff als Additiv zugegeben, dem Abgas beigemischt oder aber direkt durch Imprägnierung auf das Filtermaterial aufgebracht werden.

Als Fazit ergibt sich, daß ein selbständiges Freibrennen der Dieselruß-Filterssysteme mit unterschiedlichen Katalysatorsystemen erst oberhalb 300°C erreicht werden konnte.

2.1. Dieselaabgas-Filterung

Entscheidend für eine genaue Betrachtung der Vorgänge bei der Regeneration von Partikelfiltern ist die Erforschung der zugehörigen Abbrand- und Reaktionskinetik. Dazu sollte primär anfallender Dieselruß im Labor analysiert und oxidiert werden. Der Ruß mußte mit geeigneten Partikelfiltern aus dem Abgasstrom eines Dieselmotors so isoliert werden, daß sein primärer Zustand erhalten blieb.

Dazu war es notwendig, die Probenahme möglichst dicht hinter den Motorauslaß anzuordnen, um lange Nachreaktionszeiten, Temperaturänderungen, usw. zu unterbinden. Hierzu bot sich die „Teilstrom-Technik“ unter Berücksichtigung bestimmter Randbedingungen wie Abgasvolumenstrom, Temperaturen, Drücke, etc. an.

Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, mußte die Rußabscheidung über definierte Zeiträume und während konstanter Motorbetriebszustände unter Nutzung einer Umschalteneinrichtung erfolgen. Für einen schnellen Austausch der Filter in entsprechenden Adaptern wurde eine „Schubladentechnik“ entwickelt, die aus Filteraufnahme und Filterhalter bestand, um in möglichst kurzer Zeit in einem Betriebspunkt des Motors

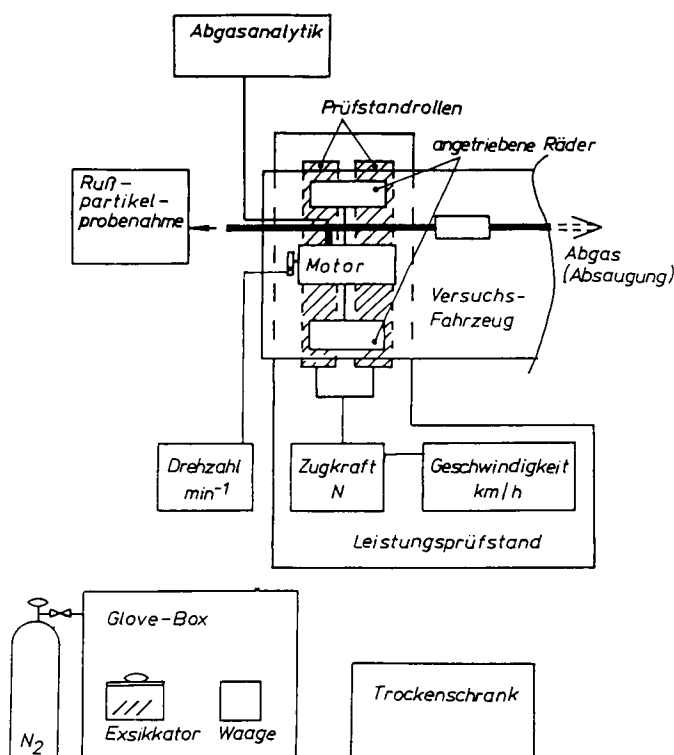


Abb. 1:
Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

mehrere Proben nehmen zu können. Hierzu war das Auspuffsammelrohr unmittelbar hinter dem Auslaßkrümmer mit einer Strömungsverzweigung versehen, an die sich das normale Auspuffsystem einerseits und die Probenahmeeinrichtung andererseits anschlossen. Es wurde eine Umschalteneinrichtung, bestehend aus zwei gekoppelten Drehklappen, konzipiert, die es ermöglichte, das fahrzeugeigene Abgassystem zu schließen und währenddessen das Abgas über die Probenahmeeinrichtung zu leiten. Die Klappen wurden so gesteuert, daß immer nur die zwei Stellungen „Auspuffsystem auf – Probenahme zu“, bzw. „Auspuffsystem zu – Probenahme auf“ möglich waren.

In Abbildung 1 ist der Versuchsaufbau schematisch wiedergegeben. Im Mittelpunkt der Untersuchungen steht dabei das Versuchsfahrzeug mit seinem Dieselmotor, welches mit seiner angetriebenen Vorderachse vom Fahrzeugprüfstand aufgenommen wird. Das zur Rußpartikelprobenahme bestehende System war dabei direkt mit dem serienmäßigen Abgastrakt gekoppelt. Der Abgasanalytik (CO -, CO_2 -, NO/NO_x -, O_2 -, HC -Konzentrationsmessung) wurde die Abgasprobe durch eine beheizte Probeleitung, die direkt hinter dem Abgaskrümmer des Versuchsmotors angeschlossen war, zugeleitet. Für die Teilstrom-Probenahme kam nur eine isokinetische Probenteilung (nach VDI-Richtlinie 2066 ausgelegt) in Frage, da sonst die notwendige Gleichheit von Probe- und Reststrom nicht gewährleistet wäre.

In Versuchen wurden verschiedene Filtermaterialien (Keramik- und Metallvliesfilter unterschiedlicher Porengröße) geprüft. Kriterien für die Beurteilung der durchgeführten Versuche mit verschiedenen Filtermaterialien waren:

- mechanische Festigkeit des Filters über die Versuchsdauer
- Druckverlust über dem unbelegten Filter
- Anstieg des Druckverlustes über dem Filter während der Probenahme
- Filtereffektivität, gekennzeichnet durch die abgefilterte Rußmasse pro Zeiteinheit.

Mit der Filterung von Dieselruß im Teilstrom wurde eine Methode entwickelt, die eine Rußfilterung ohne Veränderung des primär anfallenden Dieselrußes bei konstantem Betrieb des Versuchsmotors ermöglicht. So können rußbelegte Filter für nachfolgende Untersuchungen zum Abbrandverhalten des Rußes vom Filter (Rußoxidation) erhalten werden. Die Prüfungen unterschiedlicher Filtermaterialien auf ihre Eignung zum Einsatz unter festgelegten Versuchsbedingungen ergab, daß zunächst nur Edelmetallvlies-Filter mit einer mittleren Porengröße von $25\text{ }\mu\text{m}$ allen Anforderungen gerecht werden. Für einen Übergang zu keramischen Filtern wurden Lösungsansätze gefunden, die jedoch einer Weiterentwicklung bedürfen. Bei Einsatz von Metallvlies-Filtern im Teilstrom, der isokinetisch mit 25% bezogen auf den Abgasgesamtstrom entnommen wird, sind Filterzeiten um ca. 3 min. zu verifizieren. Die abgeschiedenen Rußmengen liegen dabei um ca. 95 mg.

2.2. Reaktionskinetische Untersuchungen zum Dieselruß-Abbrand

Das Ziel der Untersuchungen war, die Einfluß-Parameter der Abbrandkinetik von Rußpartikeln zu bestimmen. Dazu wurde eine instationär arbeitende Kreislaufappa-

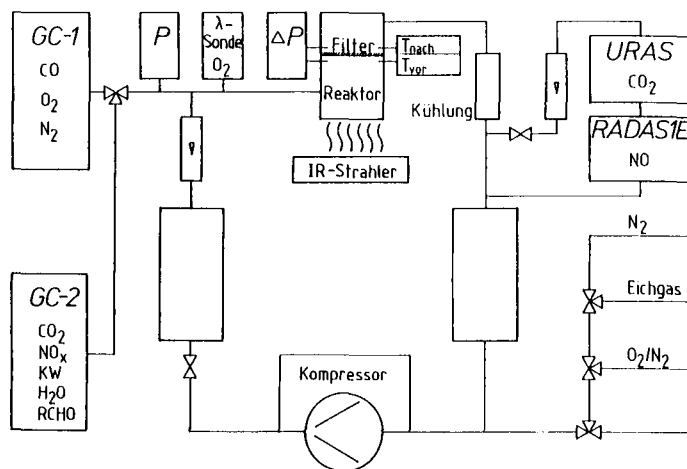


Abb. 2:
Fließschema der Kreislauf-Apparatur

ratur konzipiert, um an die Analytik nicht zu extreme Anforderungen stellen zu müssen. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 schematisch wiedergegeben.

Die Regeneration der Rußfilter erfolgte durch Abbrennen der Rußpartikel in einem Quarzglas-Reaktor. Mit einem Kompressor wurde das Gas (synth. Luftgemisch) mit konstantem Volumenstrom ($\dot{V} = 25 \text{ l/min.}$) im Kreislauf durch das Filter gepumpt. Zur Einleitung des Zündvorganges konnte die Anströmtemperatur mit Hilfe eines IR-Strahlers zügig und kontinuierlich erhöht werden. Während des Versuches wurden simultan

- die Temperaturen T_v , T_n am Filter,
- der Druckabfall Δp über dem Filter, sowie
- die analytischen Daten:
 - die NO-Konzentration mit einem NDUV-Betriebsphotometer (Radas 1E),
 - die CO₂-Konzentration mit einem NDIR-Gasanalysator (URAS 1), und
 - die O₂-Konzentration mit einer λ -Sauerstoffsonde

als Funktion der Zeit erfaßt.

Da im Satzbetrieb gearbeitet wurde, konnten nach Versuchsende on-line-Proben aus der Kreislauf-Apparatur für die GC-Analyse entnommen werden.

Es wurden Fragestellungen zur Dieseluß-Filterregeneration (Rußverbrennung) bearbeitet. Hierbei stand die Abhängigkeit der Verbrennung von Parametern wie Sauerstoffkonzentration im Kreislaufgas, Rußgehalt im Filter sowie Katalysatorbeschichtung im Vordergrund.

Ein wesentliches Maß für den Dieselsruß-Abbrand ist die Zündtemperatur. Der Einfluß der genannten Parameter auf die Zündtemperatur wurde schwerpunktmäßig untersucht.

Die Bestimmung des Zündpunktes (Zündtemperatur, Zündzeitpunkt) erfolgte aus dem Δp - bzw. $d(\text{CO}_2)/dt$ -Maximum. Als Zündtemperatur wurde die gemessene Temperatur vor dem Rußfilter (T_v) zum Zeitpunkt des Maximums definiert.

Die für die erforderlichen reaktionstechnischen Untersuchungen entwickelte Kreislaufapparatur, dessen Hauptkomponente ein Quarzglasreaktor mit Hochleistungs-Infrarot-Beheizung war, erwies sich für die Untersuchungen als geeignet.

Übereinstimmend mit der Literatur ergaben sich für die unkatalysierte Ruß-Verbrennung bei etwa konstanter Rußmenge Zündtemperaturen von 600°C. Es ist notwendig, diese hohen Regenerationstemperaturen herabzusetzen, deshalb wurden zwei Wege verfolgt, nämlich,

- Imprägnierung des Filters mit Katalysatorsystemen, sowie
- Zugabe von katalytischen Additiven zum Dieselmotorkraftstoff.

Es wurden einfache und binäre Katalysatoren entwickelt und auf metallische Filtervliesseiben durch ein Tränk-Verfahren aufgebracht.

Beim Katalysator-screening zeigten die Cu-haltigen Systeme hinsichtlich des Zündpunktes, im Gegensatz zu allen anderen untersuchten Katalysatoren, einen herausragenden Effekt. Die Zündtemperaturen konnten erheblich gesenkt werden; im Vergleich dazu wiesen die Edelmetall-Katalysatoren nur eine geringe Wirkung auf. In Abbildung 3 wird die qualitative Bewertung der Katalysator-Kombinationen wiedergegeben.

	Cu	Fe	Mn	Ca	Pd
Cu	++	++	++	+++	++
Fe		o	o	o	o
Mn			o	+	o
Ca				o	o
Pd					o

Abb. 3:

Katalysator-Kombinationen: Bewertung

○ = keine Wirkung; + = schwache Wirkung; ++ = gute Wirkung; +++ = sehr gute Wirkung

Die Additive ergaben für die Rußfilter-Regeneration ein abweichendes Bild; z.B. zeigte ein Pd-haltiges Additiv die größte Temperaturniedrigung aller untersuchten Dieseldieselkraftstoff-Zusätze.

Die ersten kinetischen Modellansätze für die unkatalysierte Dieseldieselruß-Filter-regeneration ergaben in Übereinstimmung mit der Literatur Aktivierungsenergien von 90 KJ/mol.